

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

### **Аннотация**

*Разработана методика определения теплофизических свойств жидкого керамического теплоизоляционного покрытия. Данная методика позволила преодолеть трудности подобных исследований – сложность измерения температуры наружных поверхностей материалов. С помощью разработанной методики были определены теплофизические свойства жидкого керамического теплоизоляционного покрытия – степень черноты и фактический коэффициент теплопроводности.*

*Ключевые слова: теплофизические свойства, жидкие керамические теплоизоляционные материалы.*

### **Abstract**

*The method of determining thermophysical properties of liquid ceramic insulation coating has been developed. This methodology takes into account the peculiarities of the investigated coating – complexity of measuring the surface temperature. The thermophysical properties of liquid ceramic insulation coating – degree of blackness and actual heat conductivity coefficient – were defined with the help of the developed technique.*

*Key words: thermophysical properties, liquid ceramic insulation coating.*

### **Введение**

В настоящее время приоритетным направлением развития общества является бережное и рациональное использование энергии. Стремление минимизировать потребление топливно-энергетических ресурсов характерно как для производственных, так и для непроизводственных сфер экономики. Одним из очевидных путей снижения удельных энергетических затрат является уменьшение потерь теплоты в технологических процессах и в быту. Для уменьшения тепловых потерь, как правило, применяются различные теплоизоляционные материалы. В последние несколько лет на рынке Украины появились новые материалы – жидкие теплоизоляционные покрытия («Корунд», «Re-Therm», «Temp-Coat», «TC-Ceramic», «TSM-Ceramic» и другие [1]).

Теплоизоляционные характеристики подобных покрытий основаны на использовании керамических или стеклянных микросфер, определяющих их особые свойства. Производители предлагают использовать эти покрытия для теплоизоляции и защиты от коррозии различного теплотехнического оборудования с температурой эксплуатации от  $-60$  до  $+200$  °С. При этом анонсируются уникальные теплоизоляционные свойства. Обычно приводятся данные о так называемой «эффективной» теплопроводности материала покрытия равной  $\lambda_{\text{эф}}=0,001-0,005$  Вт/(м·К) [2; 3]. В то же время действительные теплофизические свойства материала покрытия не указываются, что не позволяет объективно оценить эффективность их применения.

Таким образом, существует задача определения реальных теплофизических характеристик жидких теплоизоляционных покрытий, что позволит объективно оценить их эффективность в каждом конкретном случае и определить область, в которой их использование даст наибольший эффект как в экономии энергии, так и в экономии денежных средств. Именно это и явилось целью настоящей работы.

### Постановка и решение задачи

Задачей исследования была разработка методики определения степени черноты и действительного коэффициента теплопроводности жидкого теплоизоляционного покрытия в диапазоне температурного интервала использования от  $+20$  до  $+200$  °С.

В основу исследований был положен метод стационарного теплового состояния [4]. Чтобы исключить влияние конвективной составляющей на теплопередачу, исследования проводили в условиях вакуума. Была использована камера сушки универсального вакуумного поста, обеспечивающего предварительный вакуум 10–3 мм рт. ст. Для выполнения исследований было изготовлено специальное приспособление, закрепленное на крышке этой камеры. Устройство состояло из измерительной ячейки, двух клеммных колодок и вакуумного разъема для подвода электрической мощности, а также вывода показаний термоэлектрических термометров. В качестве вторичного прибора использовался программно-аппаратный комплекс на основе персонального компьютера.

Измерительная ячейка (рис. 1) включала расположенный в центре медный электрический нагреватель и два образца  $\varnothing 38,5$  мм и толщиной 6 мм из текстолита. Образцы удалены от медного нагревателя на расстояние 2 мм. С одной стороны каждого из образцов имеется углубление толщиной 2 мм, куда наносилась теплоизоляционная краска. С двух сторон образцов на глубине 0,5 мм вклеены термодпары типа ХА с диаметром электродов 0,2 мм.

Для снижения потерь лучистой энергии в вакуумной камере от боковых поверхностей образцов последние были окружены пятью отражающими экранами с низкой степенью черноты ( $\epsilon = 0,4 \div 0,5$ ). На поверхности внутренних экранов установили охранный нагреватель, температура которого во время исследований поддерживалась на  $1,5 \div 2,0$  °С ниже минимальной температуры образцов.

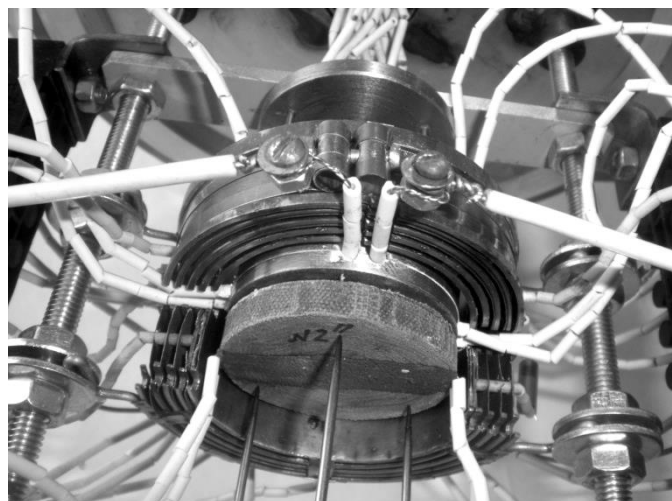


Рис. 1. Общий вид измерительной ячейки

Основные замеры проводились после наступления стационарного теплового состояния. В условиях вакуума длительность опыта составляла от 5 до 7 часов.

Методика определения степени черноты и коэффициента теплопроводности материала основывается на следующих соображениях. Теплота, выделяющаяся в электрическом нагревателе, в виде теплового потока известной величины  $Q_1$  проходит через текстолитовый образец. С другой стороны, величину этого теплового потока можно определить по формуле:

$$q_1 = \frac{\lambda_{обр}}{\delta_{обр}} (T_2 - T_1), \quad (1)$$

$\lambda_{обр}$  – коэффициент теплопроводности текстолитового образца, Вт/(м·К);

$\delta_{обр}$  – толщина образца, м;

$T_2$  и  $T_1$  – температура поверхностей образца, К.

Тепловой поток  $Q_2$ , проходящий через слой краски, определяется по выражению:

$$q_2 = \frac{\lambda_{кр}}{\delta_{кр}} (T_{кр} - T_2), \quad (2)$$

где  $\lambda_{кр}$  – коэффициент теплопроводности покрытия, Вт/(м·К);

$T_{кр}$  – температура поверхности покрытия (краски), К;

$\delta_{кр}$  – толщина покрытия, м.

Тепловой поток излучения  $q_3$  от нагревателя к покрытию (краске) равен:

$$q_1 = \sigma_0 \cdot \varepsilon_{np} \cdot \left[ \left( \frac{T_3}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{кр}}{100} \right)^4 \right], \quad (3)$$

$\sigma_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);

$\varepsilon_{np}$  – приведенная степень черноты системы «нагреватель-покрытие»,

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{1/\varepsilon_3 + 1/\varepsilon_{кр} - 1};$$

$\varepsilon_3$  – степень черноты материала нагревателя;

$\varepsilon_{кр}$  – степень черноты теплоизоляционного покрытия;

$T_3$  – температура поверхности нагревателя, К.

Выражая неизвестную температуру краски из уравнения (2)

$$T_{кр} = \frac{\delta_{кр}}{\lambda_{кр}} \cdot q_2 + T_2,$$

с учетом условия равенства тепловых потоков  $q_1 = q_2 = q_3 = q$  (для стационарного теплового состояния), получаем одно уравнение с двумя неизвестными  $\sigma_{np}$  и  $\lambda_{кр}$ :

$$\frac{T_2 - T_1}{\delta_{обр}/\lambda_{обр}} = C_0 \cdot \varepsilon_{np} \cdot \left[ \left( \frac{T_3}{100} \right)^4 - \left( \frac{q \cdot \delta_{кр}/\lambda_{кр} + T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (4)$$

Второе уравнение записываем ввиду допущения о том, что значения  $\varepsilon_{кр}$  и  $\lambda_{кр}$  в исследуемом диапазоне температур остаются неизменными. Таким образом, по результатам двух опытов при разных значениях величины тепловой мощности нагревателя, температур нагревателя, образца и покрытия, получаем систему уравнений в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{T_2 - T_1}{\delta_{обр}/\lambda_{обр}} = C_0 \cdot \varepsilon_{np} \cdot \left[ \left( \frac{T_3}{100} \right)^4 - \left( \frac{q \cdot \delta_{кр}/\lambda_{кр} + T_2}{100} \right)^4 \right] \\ \frac{T_2' - T_1'}{\delta_{обр}/\lambda_{обр}} = C_0 \cdot \varepsilon_{np} \cdot \left[ \left( \frac{T_3'}{100} \right)^4 - \left( \frac{q' \cdot \delta_{кр}/\lambda_{кр} + T_2'}{100} \right)^4 \right] \end{cases}, \quad (5)$$

здесь  $T_1, T_2, T_3$  – экспериментальные значения температур и тепловой поток  $q$  (определяемый по формуле (1)), при минимальном значении температур принятого диапазона исследований;

$T_1', T_2', T_3', q'$  – соответственно, при максимальном значении температур принятого диапазона исследований.

Решая систему из двух нелинейных уравнений определяем степень черноты и коэффициент теплопроводности исследуемого покрытия в заданном температурном диапазоне.

## Выводы

Разработана методика определения теплофизических свойств жидкого керамического теплоизоляционного покрытия, которая учитывает его особенности – малую толщину, отсутствие достоверных данных о степени черноты. С использованием этой методики было уста-

новлено, что коэффициент теплопроводности покрытия в диапазоне температур  $+20\div 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет  $0,12\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , а степень черноты покрытия –  $0,36$ .

### Список использованных источников

1. Центр теплоизоляции. Жидкие теплоизоляционные покрытия: каталог. Режим доступа: <http://tutteplo.ru/catalog> (дата обращения: 11.03.2011).
2. Теплоизоляционные свойства покрытия. Сверхтонкая теплоизоляция «Корунд». Режим доступа: [http://nano34.ru/var/mini\\_price/494.pdf](http://nano34.ru/var/mini_price/494.pdf). (дата обращения: 25.03.2011).
3. Композиция теплоизоляционная жидкая ТСС. ООО ТД "УкрИзоПром": статьи. Режим доступа: [http://www.tcceramic.com.ua/articles.php?news\\_id=32](http://www.tcceramic.com.ua/articles.php?news_id=32). (дата обращения: 02.04.2011).
4. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. М.: Энергия, 1979. 319 с.

УДК 669.014

**В. Н. Гуцин, В. А. Ульянов, В. А. Васильев**

Нижегородский государственный технический университет  
имени Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

## ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВИХРЕОБРАЗОВАНИЯ В ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШАХ МНЛЗ НА КАЧЕСТВО ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

### Аннотация

*Рассмотрено влияние скорости подвода расплава в промежуточный ковш на интенсивность вихреобразования на мениске и ее влияние на степень загрязненности литого металла неметаллическими включениями.*

*Ключевые слова: промежуточный ковш, вихревые образования, потоки расплава, неметаллические включения.*

Целью работы являлось определение условий образования вихревых образований на поверхности расплава в промежуточных ковшах и влияние их интенсивности на степень загрязненности металла неметаллическими включениями.

На физических моделях были проведены серии опытов подвода расплава в промковши через защитные трубы (глубина погружения 150 мм) с выходными отверстиями диаметром 110 мм при скоростях истечения струи расплава  $\omega_0=0,6\ldots 1,7\text{ м/с}$ .

Разливка в прямоугольный 50 т промковш с высотой налива жидкого металла 750 мм дает симметричную картину раскрытия струи расплава. В центральном сечении (вдоль большой оси, рис. 1, а) это четырех вихревая структура с максимальными скоростями гидропотоков в сечениях II, IV в соответствии с отливаемыми непрерывнолитыми заготовками с